

УДК 532.528

Т. Вітенько, докт. техн. наук, професор, Н.Городиський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ І ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ В СИСТЕМАХ
ТВЕРДЕ-ТІЛО РІДИНА В ПРОЦЕСАХ ЕКСТРАГУВАННЯ**

T. Vitenko, N. Horodyskyi

**INFLUENCE OF ULTRASONIC AND HYDRODYNAMIC CAVITATION IN THE
SYSTEM "SOLID BODY-LIQUID" IN THE PROCESSES OF EXTRACTION**

Ідея використовувати кумулятивної дії кавітаційних бульбашок для інтенсифікації технологічних процесів призвела до створення гідродинамічних і акустичних кавітаційних пристроїв. Технологічні процеси в кавітаційних апаратах базуються на використанні ефектів кавітації, що пов'язані з різними фізико-механічними ефектами, зокрема: ударними хвилями, кумуляцією, автоколиванням, вібротурбулізацією, бародифузиею і теплопередачею, - які виникають при утворенні каверн, їх розпаді і колапсі кавітаційних бульбашок.

Гідродинамічна кавітація може цілеспрямовано створюватися в пристроях різних конструкцій. За умов гідродинамічної кавітації кипіння рідини виникає внаслідок швидкого зниження зовнішнього тиску, що можна забезпечити в апаратах, які широко застосовують у хімічній технології, зокрема механічні мішалки, труби Вентурі. УЗ кавітація - основний ініціатор фізико-хімічних процесів, що виникають в рідині під дією УЗ. Вона реалізується за рахунок трансформації низької щільності енергії УЗ у високу щільність енергії поблизу і всередині газової бульбашки. В ультразвуковій хвилі під час напівперіодів розрідження виникають кавітаційні бульбашки, які різко закриваються після переходу на ділянку підвищеного тиску, породжуючи сильні гідродинамічні збурення в рідині, інтенсивне випромінювання акустичних хвиль. При цьому, в рідині відбувається руйнування поверхонь твердих тіл, що межують з киплячою рідиною.

Зупинемось на кавітаційних явищах в процесах екстрагування. Головна особливість процесу екстрагування з харчової і рослинної сировини полягає в тому, що фізичні властивості сировини значною мірою змінюються в процесі екстрагування, і це чинить істотний вплив на усі стадії процесу. На більшості заводів екстрагування ведеться малоефективними методами, такими як: мацерація, перколяція, настоювання. Мацерація є звичайним замочуванням, при якому відбувається руйнування клітинних стінок рослинної сировини і розчинення речовин, що екстрагуються. Тривалість процесу досягає 14 днів. За перколяції, або проціджування, розчинник просочується через шар подрібненої сировини і "вимиває" цільові компоненти. Основні фізичні явища, що обумовлюють процес є гравітація, в'язкість, адгезія, тертя, осмос, поверхневі, капілярні явища і розчинення. Застосування різних електрофізичних методів (зокрема, кавітації) дає змогу по-новому побудувати технологічний процес, значно прискорити його, підвищити вихід і поліпшити якість продукції.

Застосування ультразвуку прискорює процес екстрагування з сировини, забезпечуючи повніше вилучення діючих речовин. Ультразвукові хвилі, що виникають, створюють знакомінний тиск і звуковий вітер. У результаті швидше відбувається набрякання матеріалу і розчинення вмісту клітини, збільшується швидкість обтікання частинок сировини, в пограничному дифузійному шарі виникають турбулентні і вихрові потоки. Молекулярна дифузія усередині частинок матеріалу і в пограничному дифузійному шарі практично замінюється на конвективну, що призводить до інтенсифікації масообміну. В результаті кавітації відбувається руйнування клітинних

структур, що прискорює процес переходу діючих речовин в екстрагент за рахунок їх вимивання. Застосування ультразвуку дає змогу отримати вилучення за декілька хвилин. Ефективність використання ультразвуку залежить від параметрів процесу: інтенсивності і експозиції озвучування, вибору екстрагента, співвідношення сировини і екстрагента та ін. Найбільш оптимальна температура при озвучуванні не вище 30-60 С, щоб уникнути утворення бульбашок повітря, що гасять ультразвукові хвилі. Як екстрагент використовують переважно спирто-водні суміші з високою концентрацією етанолу, які інгібують окислювально-відновні процеси, що мають місце в ультразвуковому полі. Для багатьох видів сировини оптимальна інтенсивність ультразвуку (з частотами $2 \times 10^4 - 2 \times 10^8 \text{ c}^{-1}$) знаходиться в інтервалі $1,5 - 2,3 \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$.

Ефективність впливу гідродинамічної кавітації на технологічне середовище пояснюється градієнтами тисків (порядку $10^2 - 10^3 \text{ МПа}$), хвилями розрідження-стиснення зумовленими пульсаціями парогазових бульбашок, дією кумулятивних струминок, фазовими переходами, що відбуваються на поверхні бульбашок, пульсацією температури, утворенням турбулентних ділянок. Такий підхід передбачає дискретний розподіл енергії у робочому об'ємі, що стає можливим внаслідок створення умов для генерації великої кількості парових чи парогазових бульбашок. За наявності у рідині твердих чи газових дисперсій інтенсифікується утворення, ріст і сплескування бульбашок, що сприяє рівномірному розподілу енергії по всьому об'єму та раціональному її використанню. Такий підхід передбачає, що дисипація енергії здійснюється безпосередньо біля дисперсної частинки або на її поверхні.

Розглянемо фізичну інтерпретацію механізму впливу гідродинамічної кавітації на процеси хімічної технології: дифузійно-контрольовані, кінетично контрольовані, біологічні, механічні. Під час пульсацій, росту і сплескування кавітаційних бульбашок у рідині в межах кавітаційної ділянки формуються нестационарні потоки, які інтенсифікують конвективне масоперенесення і здійснюють динамічний вплив на тверді частинки. Створюються умови для інтенсифікації зовнішньо-дифузійних процесів у системі тверде тіло – рідина.

У внутрішньо-дифузійних процесах (екстрагування з твердої фази) інтенсифікація процесу насамперед пов'язана зі зміною структури екстрагента та його властивостей. Швидкість цього дифузійного процесу суттєво залежить від компонента, який вилучають, характеру взаємодії інертного твердого носія з компонентом, який екстрагують, структури поруватого матеріалу, а також від умов рівноваги і кінетики процесу.

Порівняння отриманих результатів оброблення системи вода-пористі тіла у гідродинамічному кавітаційному реакторі з результатами ультразвукового оброблення засвідчує, що механізм впливу ультразвукової і гідродинамічної кавітації є однаковим. Хоча спостерігається різниця структури кавітаційної течії. Тому для моделювання процесів і створення нових пристроїв необхідно чітко оцінювати інтенсивність кавітаційної дії в обох випадках, наприклад, за швидкістю кумулятивних мікроструминок. Як правило, це ускладнюється недостатньою кількістю даних стосовно фізико-хімічних змін середовища внаслідок кавітаційного впливу.